

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perbaikan *subgrade* yang tidak memenuhi persyaratan tertentu, merupakan hal utama yang harus diselesaikan sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi selanjutnya. Pilihan perbaikan biasanya dilakukan cara stabilisasi dengan mencampur material yang memiliki gradasi lebih baik atau menambahkan suatu bahan *additive* seperti semen dan kapur. Penggunaan bahan semen dan kapur telah menjadi pilihan paling disukai dalam pekerjaan konstruksi perkerasan jalan, terutama semen yang merupakan material unggulan. Namun dampak buruk bahan semen yaitu dalam setiap produksinya diperlukan energi pembakaran yang besar (membutuhkan temperature pembakaran 1450 - 1550°C) dan memiliki masalah pada lingkungan. Hampir satu ton emisi CO₂ dikeluarkan keudara untuk setiap produksi satu ton semen (Lodeiro dkk., 2015a). Pemakaian semen dalam hal kebutuhan konstruksi khususnya untuk stabilisasi tanah perlu dikurangi dengan mencari alternatif pilihan bahan stabilisasi lain yang ramah lingkungan. Stabilisasi tanah perlu dilakukan untuk memperoleh ketahanan lapis perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas. Daya tahan perkerasan jalan sulit diprediksi bila lapisan *subgrade* dibawahnya cenderung banyak mengandung butiran halus dan lepas. Pada umumnya *subgrade* memiliki kuat dukung yang tidak dapat diandalkan dan mudah mengalami deformasi karena pengaruh kenaikan kadar air dan nilai CBR yang rendah. Usaha yang sering dilakukan untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan cara pemadatan dilapangan.

Lapisan *subgrade* dari tanah berbutir halus banyak digunakan karena lebih ekonomis dan letak lapisannya berada paling bawah konstruksi jalan. Lapisan *subgrade* dalam jangka panjang akan menjadi bermasalah karena mudah mengalami penurunan akibat pengaruh daya dukung yang rendah.

Lapisan *subgrade* akan berpotensi terjadi deformasi berlebih yang dapat merusak konstruksi perkerasan jalan di atasnya dan merugikan para pengguna jalan serta memerlukan anggaran biaya besar untuk pemeliharaan berkala.

Permasalahan ini dapat diatasi dengan memberikan perawatan khusus pada lapisan *subgrade* yaitu melakukan stabilisasi dengan cara dicampur bahan POFA dari limbah industri pabrik kelapa sawit dan ditambah bahan alkali aktivator. Cara terbaik untuk mengurangi dampak limbah industri adalah dengan memanfaatkannya untuk stabilisasi tanah (Al-Khafaji & Al-Najar, 2018). Penggunaan bahan berasal dari limbah pada saat ini, sudah diaplikasikan untuk stabilisasi tanah yang materialnya bukan saja ramah lingkungan tetapi juga murah (Kamaruddin, 2020).

Indonesia merupakan negara terbesar di dunia yang memiliki perkebunan kelapa sawit. Luas areal perkebunan kelapa sawit tercatat lebih dari 14 juta hektar dan dari data produksi sampai tahun 2019 mencapai lebih dari 45 juta ton (*Secretariate of Directorate General of Estates*, 2020). Dampak dari produksi buah kelapa sawit menjadi CPO (*Crude Palm Oil*), salah satunya adalah limbah padat dengan jumlah cukup banyak yang selama ini dibuang dan tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga berpotensi merusak lingkungan. Pengolahan buah kelapa sawit menyumbang limbah padat sebanyak 35-40% dari jumlah tandan buah segar (Susanto dkk., 2017). Umumnya sisa dari pengolahan buah kelapa sawit mengeluarkan limbah cair, gas dan limbah padat yang salah satu limbahnya adalah abu pembakaran kelapa sawit atau *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Adapun POFA disebut sebagai limbah padat kelapa sawit yang terdiri dari serabut, cangkang dan tandan buah kosong yang dibakar pada temperature 800-1000°C sebagai bahan bakar untuk memberikan uap panas ke unit *boiler* dipabrik pengolahan kelapa sawit. Setelah melalui proses pembakaran, limbah padat kelapa sawit akan mendapatkan sebuah produk abu, dimana sebanyak kira-kira 5% dari sisa beratnya dikenal sebagai POFA (Noorvand dkk., 2013).

Limbah POFA mengandung senyawa silika dan alumina, dan bila dicampur larutan alkali aktivator akan reaktif dan menghasilkan sifat yang mengikat butiran-butiran tanah, sehingga diharapkan dapat menambah nilai kekuatan tanah. Kadar POFA efektif berada dalam rentang 20-25% dan penggunaan aktivator Sodium hidroksida (NaOH) dengan molaritas 10M disebut layak sebagai konsentrasi larutan untuk peningkatan kekuatan tanah dalam pertimbangan ekonomis dan praktis (Pourakbar dkk., 2016). Penggunaan alkali aktivator dan POFA dapat menjaga lingkungan dan mengurangi perbaikan tanah menggunakan semen dan kapur (Pourakbar dkk., 2015a). Penggunaan semen untuk stabilisasi tanah merupakan cara tradisional dan perlu pengembangan alternatif bahan lain yang ramah lingkungan. Oleh karena itu dimungkinkan untuk melakukan peningkatan efisiensi penggunaan semen dengan pengembangan *alkali activated binder* (Habert, 2013). Bahan alkali memainkan peran penting dalam proses pembentukan batuan-batuan di alam, ditemukan dalam beton pada struktur-struktur kuno dan dimaksudkan kedalam semen modern (Krivenko, 2017).

Dalam penelitian ini, beberapa variasi rasio Na_2SiO_3 dan NaOH sebagai alkali aktivatornya digunakan untuk campuran tanah dan POFA atau dikenal dengan istilah *Alkali-activated POFA* (AAP) dan mengadakan beberapa pengujian terhadap benda uji diantaranya uji properties, uji mineral, uji mikroskopik, uji mekanis, uji model fisik dan validasi analisis numerik.

Secara umum penelitian dilakukan pada dua tahapan pengujian. Adapun pengujian yang pertama untuk mendapatkan karakteristik fisis dan mekanis tanah asli. Kemudian dilanjutkan untuk tanah asli dicampur POFA dan alkali aktivator serta pemeriksaan komposisi senyawa kimia dan kandungan mineral. Karakteristik fisis didapatkan dengan melakukan serangkaian uji properties dan karakteristik mekanis dengan mengadakan percobaan pemadatan standar (standar Proctor), uji CBR (*California Bearing Ratio*) rendaman dan non rendaman serta uji kuat tekan bebas, UCT (*Unconfined Compression Test*). Komposisi unsur mineral yang terkandung pada tanah dan POFA diperiksa menggunakan alat XRF (*X-Ray Fluorescence*).

Selanjutnya analisis mikrostruktur menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk identifikasi fase kristalisasi pada benda uji.

Pengujian kedua adalah mengadakan uji beban pelat (*plate load test*, PLT) untuk tanah asli, tanah terstabilisasi POFA dan alkali aktivator. Desain campuran terstabilisasi alkali aktivator berdasarkan variasi campuran yang memberikan kekuatan maksimal. Uji PLT adalah cara paling meyakinkan untuk memperoleh daya dukung dengan memberikan tekanan pada tanah (Kwandy & Sentosa, 2019). Perilaku deformasi lapisan *subgrade* dari hasil uji beban pelat kemudian dianalisis balik atau divalidasi melalui analisis numerik dengan metode elemen hingga (FEM) untuk mendapatkan hasil analisis yang dapat dipercaya.

Desain campuran stabilisasi tanah yang terbaik dari bahan penyusun POFA dan larutan alkali aktivator akan memberikan keuntungan tersendiri dalam upaya mengurangi pemakaian semen dan kapur. Bahan POFA yang berasal dari limbah pabrik kelapa sawit digunakan untuk mendukung langkah inovasi pengembangan keilmuan stabilisasi tanah yang bersifat aplikatif. Maka penelitian ini mampu memberikan kontribusi pada sebuah produk bahan stabilisasi ramah lingkungan dan usaha pengurangan risiko bencana alam akibat aktivitas manusia seperti penambangan kapur serta menimbulkan polusi udara melalui pelepasan karbondioksida (CO₂) dari pabrik produksi semen.

Penelitian ini dikembangkan dengan membuat model fisik lapisan *subgrade* skala laboratorium. Dengan maksud melakukan pengamatan pada perilaku lapisan *subgrade* dari tanah asli yang dicampur POFA dan alkali aktivator terhadap penerapan beban dan penurunan. Oleh karena itu, penelitian tentang evaluasi pengaruh alkali-aktivasi POFA sangat penting dilakukan sebagai upaya penyelamatan lingkungan dari dampak buruk limbah pabrik kelapa sawit dan juga mendapatkan kelayakan bahan POFA untuk digunakan sebagai bahan campuran stabilisasi tanah yang dapat diaplikasikan pada berbagai pekerjaan stabilisasi timbunan jalan.

Kemudian mempromosikan dan mendorong penggunaan limbah POFA sebagai bahan stabilisasi. Maka untuk mencapai itu semua, perlu dilakukan kajian lebih dalam dengan menetapkan tema penelitian yaitu evaluasi pengaruh POFA berbasis alkali *activated* material untuk stabilisasi tanah.

1.2. Masalah Penelitian

Masalah penelitian yang dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tambahan AAP (Alkali-Activated POFA) untuk tanah asli sebagai acuan landasan teori dan landasan kerja paling efektif sebagai lapisan *subgrade*.
2. Bagaimana perilaku tanah asli terstabilisasi AAP (Alkali-Activated POFA) sebagai lapisan *subgrade* pada pengamatan uji model fisik.
3. Bagaimana perubahan mikrostruktur tanah asli terstabilisasi AAP (Alkali-Activated POFA) sebagai lapisan *subgrade*.
4. Bagaimana kelayakan AAP (Alkali-Activated POFA) dapat dijadikan untuk bahan stabilisasi tanah.

1.3. Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh tambahan AAP (Alkali-Activated POFA) untuk tanah asli sebagai acuan landasan teori dan landasan kerja paling efektif sebagai lapisan *subgrade*.
2. Menganalisis perilaku tanah asli terstabilisasi AAP (Alkali-Activated POFA) sebagai lapisan *subgrade* dari pengamatan uji model fisik.
3. Memeriksa perubahan mikrostruktur tanah asli terstabilisasi AAP (Alkali-Activated POFA) sebagai lapisan *subgrade*.
4. Menganalisis kelayakan AAP (Alkali-Activated POFA) yang dapat dijadikan untuk bahan stabilisasi tanah.

1.4. Kontribusi Bagi Ilmu Pengetahuan

Tanah berbutir halus dan lepas yang dijadikan sebagai lapisan *subgrade* akan berpotensi mengalami deformasi berlebih dalam jangka panjang akibat pengaruh beban dan kenaikan kadar air. Keadaan ini merugikan perkerasan jalan karena penurunan lapisan *subgrade* tidak bisa diprediksi. Periode awal konstruksi biasanya tidak menunjukkan gejala penurunan, tetapi seiring berjalannya waktu akibat pengaruh beban berlebih dan lalu lintas berulang menjadikan *subgrade* akan menunjukkan perilaku deformasi yang buruk.

Guna mencegah perilaku *subgrade* yang buruk tersebut, perbaikan tanah harus dilakukan melalui cara stabilisasi tanah asli dengan campuran bahan POFA dan alkali aktivator atau disebut dengan istilah Alkali-Activated POFA (AAP). Campuran antara POFA dan alkali aktivator akan menimbulkan terjadinya reaksi kimia pada kandungan unsur mineral didalam POFA. Reaksi kimia dalam campuran akan memperkuat ikatan antar butir tanah (*binder*). Kemudian menambah kuat dukung dan memperbaiki sifat fisik tanah. Kekuatan tanah terstabilisasi diketahui dengan melakukan serangkaian pengujian mekanis diantaranya UCT, CBR dan uji beban pelat. Pengujian UCT (*Unconfined Compression Test*) dilakukan untuk menemukan desain campuran efektif berdasarkan rasio Si/Al pada hasil kekuatan tertinggi antara sodium silika dan sodium hidroksida (Na_2SiO_3 dan NaOH) yang selanjutnya diaplikasikan untuk desain campuran pada pelaksanaan uji CBR dan uji beban pelat.

Penelitian ini merupakan inovasi stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan limbah kelapa sawit dan larutan alkali aktivator. Penelitian sejenis menggunakan limbah kelapa sawit telah banyak dilakukan. Tetapi penelitian ini memiliki perbedaan pada aplikasi POFA dan alkali aktivator untuk lapisan *subgrade*. Upaya yang dilakukan adalah untuk mendorong dan mempromosikan penggunaan limbah sebagai bahan stabilisasi tanah yang ramah lingkungan.

Dalam buku Spesifikasi Umum Binamarga 2018 pada pekerjaan struktur jalan dan jembatan (revisi 2) divisi 3 disebutkan bahwa tanah dasar (*subgrade*) yang memiliki CBR kurang dari 6% dapat dilakukan perbaikan tanah dasar dengan cara stabilisasi. Spesifikasi ini juga menetapkan tebal minimum perbaikan tanah dasar untuk perkerasan lentur 10 cm dan perkerasan kaku 15 cm. Adapun kebaruan yang diajukan adalah sebuah produk penelitian berupa inovasi metode perbaikan tanah menggunakan limbah POFA dan Alkali Aktivator berdasarkan desain campuran paling efektif sebagai cara stabilisasi tanah modern. Sehingga dapat mengurangi pemakaian semen dan kapur dimasa mendatang dengan memanfaatkan limbah padat pabrik kelapa sawit.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tidak hanya untuk peneliti sendiri, tapi untuk lainnya sebagai berikut:

1. Serangkaian kegiatan pengujian yang dilaksanakan dapat memberikan sumbangan pemikiran pada pengembangan ilmu pengetahuan dibidang rekayasa teknik sipil khususnya bidang geoteknik dan jalan raya.
2. Perilaku tanah asli terstabilisasi AAP dari beberapa pengujian bisa dijadikan sebagai acuan teoritis dan praktis untuk perkuatan lapisan *subgrade*.
3. Stabilisasi tanah asli dengan AAP dapat menjadi alternatif pengganti atau mengurangi penggunaan bahan stabilisasi tradisional seperti semen dan kapur.

1.6. Batasan Penelitian

Agar fokus kegiatan penelitian bisa diselesaikan sesuai rencana kerja, yaitu dengan memberikan batasan-batasan penelitian sebagai berikut:

1. Tanah terstabilisasi memiliki indeks plastisitas sedang, $PI = 10 - 17\%$
2. Kadar POFA ditetapkan 20% dari berat kering tanah.

3. Menggunakan alkali aktivator yang terdiri dari Sodium silika (Na_2SiO_3) dan Sodium hidroksida (NaOH)
4. Menetapkan jumlah Sodium hidroksida (NaOH) yang terlarut dalam satu liter air sebanyak 10 M (mol/liter).
5. Menetapkan rasio antara bahan Sodium silika dan Sodium hidroksida (Si/Al) sebesar 1.0; 1.5; 2.0 dan 2.5.
6. Perawatan benda uji pada umur pemeraman minimum selama 7 hari yang merujuk pada buku Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Dengan maksud tertulis didalamnya menetapkan umur pengujian minimum 7 hari untuk memilih kekuatan sasaran dalam rancangan campuran laboratorium pada stabilisasi tanah dasar.
7. Benda uji tekan bebas (UCT) dilakukan pemeraman untuk umur 0, 7, 14 dan 28 hari.
8. Pengujian UCT dilaksanakan untuk menentukan kekuatan maksimal dari campuran stabilisasi tanah selama 28 hari.
9. Pemeraman sampel uji untuk uji CBR rendaman dan nonrendaman selama umur 4, 7 dan 11 hari (rendaman 4 hari).
10. Pemeraman sampel uji untuk pelaksanaan PLT selama 7 hari.
11. Pembebanan statik pelaksanaan PLT direncanakan sampai benda uji mengalami keruntuhan atau maksimal penurunan izin 25.4 mm atau 1.0 inchi.
12. Validasi uji beban pelat dengan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (FEM).